

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PARAMETRY KLUZNÝCH LOŽISEK MODERNÍCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

SLIDE BEARING PARAMETERS OF MODERN COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL NOVOTNÝ, Ph.D.

BRNO 2009

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je podat všeobecné informace o kluzných ložiskách, jejich výhodách a nevýhodách. Práce je rozdělena na pět částí, v nichž jsou rozebírány jednotlivé otázky. V první části se zabývá samotnými ložisky, jejich rozdělením a vývojem. V druhé části jsou uvedeny výhody a nevýhody kluzných ložisek v porovnání s valivými ložisky. Další část pojednává o jejich hlavních parametrech, mezi které patří ztráty třením a způsoby mazání. Ve čtvrté části je v krátkosti shrnuto několik příkladů z praxe, mezi které patří mazání v extrémních pracovních podmínkách a přehled jejich poruch. Poslední část se zabývá konstrukcí kluzných ložisek, používaných ve spalovacích motorech, materiály, ze kterých jsou kluzná ložiska vyráběná a problematikou mazání, která je u těchto ložisek velice důležitá.

Abstract

The objective of this bachelor's thesis is to provide general information on sliding bearings and their advantages and disadvantages. The thesis is divided into five parts that deal with individual topics and issues. The first one is concerned with the bearings themselves, their partition and development. The second part compares sliding bearings and rolling contact bearings and their pros and cons. The next part then describes their main parameters, e.g. the friction loss or various lubrication methods. The fourth one summarizes several examples of practice, like lubricating in extreme working conditions and an overview of bearing failures. The last part deals with the construction of sliding bearings used in combustion engines, materials used to produce sliding bearings and with the issue of lubrication, which is essential for this type of bearings.

Klíčová slova

Kluzné ložisko, tření, mazání, kliková hřídel, ojnice

Key words

Sliding bearing, friction, lubrication, crank, piston rod

Bibliografická citace

DVOŘÁK, M. *Parametry kluzných ložisek moderních spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Novotný, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci napsal samostatně bez cizí pomoci, pod dohledem Ing. Pavla Novotného, Ph.D. V seznamu použité literatury jsem uvedl všechny zdroje, ze kterých jsem při vypracování vycházel.

V Brně, dne:

Podpis:

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Novotnému, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při vypracování této bakalářské práce.

Obsah

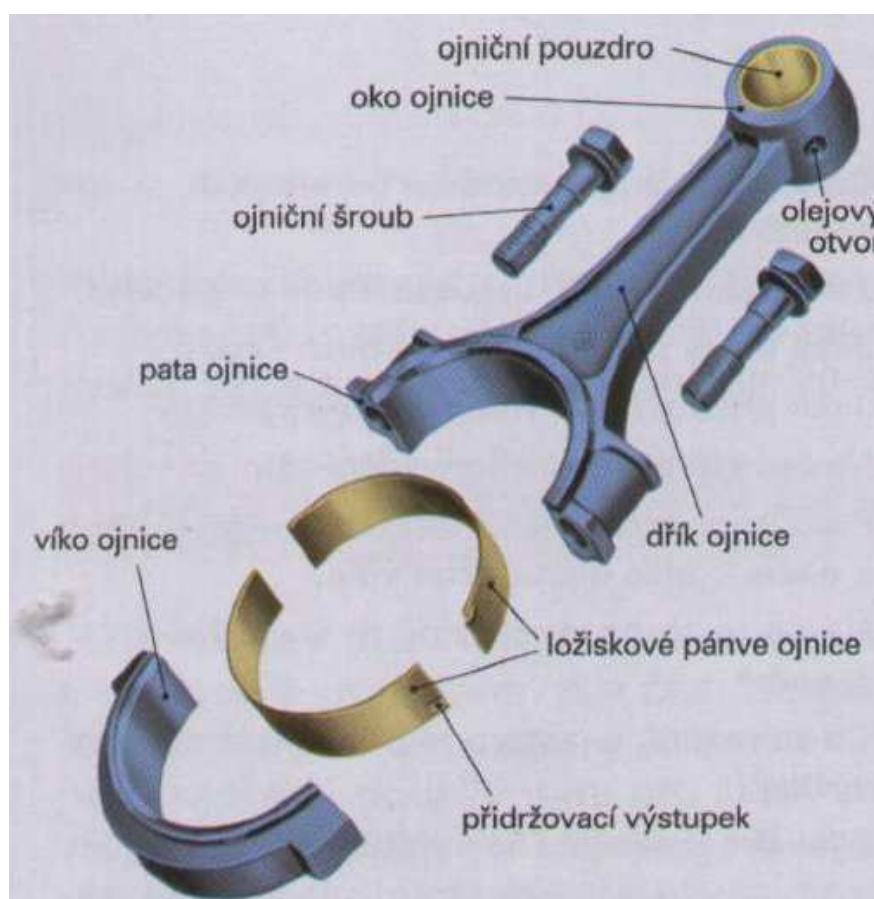
| | |
|---|----|
| 1. Úvod..... | 11 |
| 1.1. Ložiska - stručná charakteristika | 11 |
| 1.2. Základní dělení ložisek | 12 |
| 1.2.1. Kluzná ložiska | 12 |
| 1.2.2. Valivá ložiska | 12 |
| 1.3. Vývoj ložisek | 13 |
| 1.4. Poruchy a údržba kluzných ložisek | 13 |
| 2. Výhody a nevýhody kluzných ložisek | 14 |
| 2.1. Výhody | 14 |
| 2.2. Nevýhody..... | 14 |
| 3. Základní parametry kluzných ložisek | 15 |
| 3.1. Funkční požadavky | 15 |
| 3.2. Obvodová rychlost čepu | 15 |
| 3.3. Třecí ztráty..... | 16 |
| 3.4. Provozní teplota | 16 |
| 3.5. Útlum vibrací..... | 16 |
| 3.6. Trvanlivost ložisek | 17 |
| 3.7. Rozměry ložisek | 17 |
| 3.8. Způsoby mazání..... | 17 |
| 3.8.1. Kluzná ložiska s hydrodynamickým mazáním..... | 18 |
| 3.8.2. Kluzná ložiska s hydrostatickým mazáním..... | 19 |
| 3.9. Ekonomické požadavky | 19 |
| 4. Moderní trendy v problematice kluzných ložisek | 20 |
| 4.1. Kluzná ložiska v klikovém mechanismu | 20 |
| 4.1.1. Charakteristika radiálních a axiálních ložisek..... | 20 |
| 4.1.2. Konstrukce kluzných ložisek | 21 |
| 4.2. Mazaná kluzná ložiska provozována při extrémních pracovních podmínkách v parametrech zatížení, otěru a koroze | 22 |
| 4.2.1. Přehled, popis a typy poruch, působících na mechanické spoje | 23 |
| 4.2.1.1. Adhezní opotřebení | 23 |
| 4.2.1.2. Opotřebení v důsledku mechanického namáhání | 23 |
| 4.2.1.3. Abrasivní opotřebení | 23 |
| 4.2.1.4. Porucha v důsledku rázového zatížení..... | 23 |
| 4.2.1.5. Koroze..... | 23 |
| 4.2.2. Charakteristické vlastnosti | 24 |

| | |
|---|----|
| 4.2.3. Popis nové technologie ložisek | 24 |
| 5. Přehled kluzných ložisek u současných spalovacích motorů | 26 |
| 5.1. Charakteristika klikové hřídele | 26 |
| 5.2. Charakteristika ojnice | 26 |
| 5.3. Kluzná ložiska ve spalovacích motorech | 26 |
| 5.4. Ojniční a kliková ložiska | 27 |
| 5.4.1. Materiál kluzných ložisek | 28 |
| 5.4.1.1. Požadavky kladené na ložiskový kov | 28 |
| 5.4.1.2. Kompozice | 29 |
| 5.4.1.3. Bronzy | 29 |
| 5.5. Typy ložisek | 30 |
| 5.5.1. Jednoduchá kluzná ložiska | 30 |
| 5.5.2. Přírubová kluzná ložiska | 30 |
| 5.5.3. Bimetalické tenkostěnné pánve s kluznou vrstvou hliníku a cínu | 30 |
| 5.5.4. Bimetalické tenkostěnné pánve s kluznou vrstvou mědi a olova | 30 |
| 5.5.5. Axiální podložky | 30 |
| 5.6. Mazání | 31 |
| 6. Závěr | 33 |
| 7. Literatura | 34 |

1. Úvod

1.1. Ložiska - stručná charakteristika

Ložiskem se rozumí takové vzájemné uspořádání (uložení) dvou nebo několika strojních součástí, které dovoluje jejich relativní pohyb, otáčivý nebo kývavý. Funkce strojů, bezpečnost jejich provozu, trvanlivost i náklady na provoz a údržbu, jsou značně závislé na konstrukčním řešení, kvalitě výroby, montáži a spolehlivosti mazání ložisek. Ložisko přenáší sílu (zatížení) zpravidla z pohybujících se částí na část pevnou. Nutným jevem, který provází každý pohyb, je tření; je to odpor proti pohybu. Ve styčné ploše pohyblivé a nepohyblivé součásti, které jsou vzájemně přitlačovány, působí však tření i tehdy, jsou-li vůči sobě v klidu a snažíme-li se je uvést nějakou vnější silou do vzájemného pohybu. Odpor, který brání jejich uvedení do pohybu, se nazývá statické tření. Aby byl udržen relativní pohyb, který už vznikl, musí vnější působící síla překonávat odpor, který se nazývá kinetické tření. U ložisek by se mělo docílit, aby tření, které znamená určitý ztracený výkon, bylo co nejmenší. Mezi třecí plochy se přivádí nebo na třecí plochy nanáší maziva, která svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi snižují tření. [1]



Obr. č. 1 *Kluzné uložení ojnice* [7]

1.2. Základní dělení ložisek

Podle způsobů vzájemného styku pohyblivé nepohyblivé části se můžou rozlišovat dva druhy tření a podle nich dva druhy ložisek.

1.2.1. Kluzná ložiska

U těchto ložisek kluzné plochy, nepohyblivé a pohyblivé, po sobě kloužou. U kluzných ložisek s kapalinným třením jsou kluzné plochy vzájemně odděleny vrstvou kapaliny s funkcí maziva. Druh maziva a způsob mazání jsou u kluzných ložisek velmi důležitým činitelem. Při návrhu by měl mít hřídelový čep tvrdší povrch než je tvrdost kluzných ploch ložiska. [1], [6]



Obr. č. 2 *Kluzná ložiska motoru* [3]

1.2.2. Valivá ložiska

Mezi pevnou a pohyblivou plochou se odvalují vložená valivá tělesa, např. kuličky, válečky nebo jehly. Podle směru působící síly vzhledem k ose rotace rozdělujeme ložiska na radiální a axiální [1]



Obr. č. 3 *Kuličkové radiální ložisko* [5]

1.3. Vývoj ložisek

K volbě správného druh ložiska je nutno znát jejich charakteristické vlastnosti. Během dlouhé doby vývoje se vyvinulo mnoho různých konstrukcí kluzných uložení, od jednoduchých ložiskových pouzder nebo pánví až po speciální typy pro zvláštní provozní podmínky, např. ložisková pouzdra více-plochá nebo složité soustavy axiálních segmentových ložisek. Ložisko pro velmi malé kluzné rychlosti a velká zatížení je nutno řešit zcela odlišně, než pro velké kluzné rychlosti a malá zatížení. I když jsou kluzná ložiska v celosvětové výrobě zastoupeny jen z jedné třetiny, v mnoha aplikacích jsou díky svým výhodám a vlastnostem nenahraditelná. V dnešní době, ve které dochází k neustálému vývoji nových materiálů, se stále více rozšiřuje použití samomazných kluzných ložisek [1], [4]



Obr. č. 4 *Samomazná kluzná ložisko* [8]



Obr. č. 5 *Lineární kuličkové ložisko* [9]

1.4. Poruchy a údržba kluzných ložisek

Kluzná ložiska s kapalinným třením mají velkou životnost. Při správném provozu jsou třecí plochy od sebe odděleny mazací vrstvou. Je proto požadováno, aby mazací systém byl zcela spolehlivý. U dnešních osobních a nákladních automobilů jsou mazací systémy dostatečně spolehlivé. Vyžadovány jsou pouze občasné kontroly, které spočívají v pravidelném doplňování a výměně maziva, dále se musí čistit nebo vyměňovat filtry. Nejmodernější speciální ložiska z uhlíkových materiálů, nebo plněného teflonu nepotřebují obsluhu žádnou. [11]



Obr. č. 6 *Volba správného druhu oleje je důležitá pro dlouhou životnost ložiska* [10]

2. Výhody a nevýhody kluzných ložisek

2.1. Výhody

- jednoduchost a nižší cena, zejména u velkých průměrů
- schopnost snášet a tlumit rázy a vibrace, téměř bezhlučný chod
- dají se použít při vysokých otáčkách
- možnost použití ložiska při extrémních teplotách (dle použitého maziva)
- některé materiály umožňují práci ložiska i bez mazání
- menší vnější průměr; snadná montáž s přesným uložením hřídele
- možnost oprav poškozených ložisek (oprava nebo výměna pánví nebo čepů)

2.2. Nevýhody

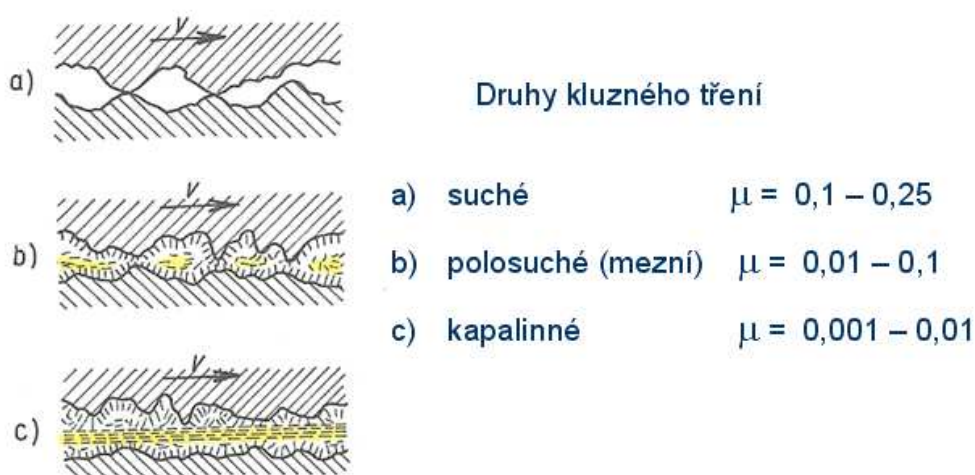
- nutná přesná výroba a dodržení tolerancí
- větší ztráty třením (ke tření dochází na větší ploše, než např. u valivých ložisek)
- nároky na dostatečné a kvalitní mazání
- jsou náchylnější na zadření
- jsou méně vhodné pro přerušovaný chod - při rozběhu a doběhu mohou pracovat v oblasti suchého tření
- většinou vyžadují záběh

[1], [11], [12]

3. Základní parametry kluzných ložisek

3.1. Funkční požadavky

Únosnost kluzných ložisek závisí na mnoha činitelích, především na charakteru působící síly (zda se jedná o statickou nebo dynamickou), a to podle toho, v jaké oblasti tření pracují (tření kapalinné, mezní a suché). Kluzná ložiska s kapalinným třením, s hydrodynamickým mazáním vyžadují určitou minimální (mezní) rychlost. Tato rychlost závisí hlavně na velikosti ložiskové vůle a viskozitě maziva. Při rozběhu a doběhu stroje, než nabude čep této minimální kluzné rychlosti, pracuje kluzné ložisko v oblasti mezního mazání. V těchto oblastech (rozběh a doběh) pracuje ložisko za nejtěžších podmínek. Pokud je ložisko při rozběhu a doběhu plně zatíženo, pak je mez únosnosti dána zatížeností ložiska v oblasti mezního mazání. Únosnost kluzného ložiska s kapalinným třením s hydrostatickým mazáním není závislá na obvodové rychlosti čepu. [1]



Obr. č. 7 *Druhy kluzného tření* [1]

3.2. Obvodová rychlost čepu

Obvodová rychlost je nejdůležitějším kritériem při volbě druhu ložiska. Kluzné ložisko s kapalinným třením, s hydrodynamickým mazáním vyžaduje pro spolehlivou funkci určitou minimální rychlost. Je proto vhodné pro střední a vysoké rychlosti. Kluzné ložisko s hydrostatickým mazáním je prakticky nezávislé na kluzné rychlosti. Je vhodné pro malé rychlosti, pro kývavý pohyb, ale vyžaduje spolehlivý mazací systém. Kluzné ložisko pracující v oblasti mezního mazání lze použít tam, kde se požaduje velmi jednoduché a levné ložisko s malou nebo střední trvanlivostí. Pro velmi vysoké rychlosti a malá zatížení jsou vhodná kluzná ložiska mazaná vzduchem nebo plyny buď s aerodynamickým, nebo aerostatickým mazáním. Kluzná ložiska se běžně dělají pro kluzné rychlosti 70 – 80m/s. Speciální ložiska slouží pro rychlosti až 100m/s. [1]

3.3. Třecí ztráty

Kluzná ložiska v oblasti kapalinného tření mají třecí ztráty menší než ložiska valivá. Tato ložiska musí však být nejen správně vypočtena, konstrukčně vyřešena, pečlivě vyrobena, ale také samozřejmě spolehlivě mazána mazivem správné viskozity. Jen za těchto okolností je možné dosáhnout u kluzných ložisek nejlepšího výkonu. Nejnížší ztráty třením má kluzné ložisko mazané vzduchem nebo plynem, tj. ložisko s aerodynamickým nebo aerostatickým mazáním. Jeho zatížitelnost je však podstatně menší než při mazání kapalinami. Kluzná ložiska s kapalinným třením, tj. s hydrodynamickým nebo hydrostatickým mazáním, mají prakticky třecí ztráty stejné jako ložiska valivá. Kluzná ložiska pracující v oblasti mezního mazání mají třecí ztráty podstatně větší, než ložiska valivá. Velikost třecích ztrát závisí na mnoha činitelích, zvláště na provozních podmínkách, ložiskovém materiálu, mazivu a kluzné rychlosti. [1]

3.4. Provozní teplota

Při volbě druhu ložiska je provozní teplota velmi důležitá, zvláště tehdy, je-li příliš nízká nebo vysoká. U kluzných ložisek s kapalinným třením musí být zajištěno, aby mazivo bylo v mazací soustavě přehříváno, pro bezpečný rozběh ložiska. Nejvyšší přípustná teplota kluzných je dána maximální trvale přípustnou teplotou daného maziva. Teploty, které překročí 100°C, vedou ke snížení tvrdosti kluzných ploch a tím i ke snížení únosnosti ložiska. Pro malé rychlosti a malá zatížení, kde nemusí být zajištěny velmi malé ztráty, se může použít nemazaných kluzných ložisek, pracujících v oblasti suchého tření. Pro toto suché tření lze použít jako materiál teflon plněný grafitem nebo práškové kovy, a to do teploty 300°C. Pro teploty 400 – 500°C je možnost použití speciálních ložisek z uhlíkových materiálů sycených mědí nebo stříbrem. [1]

3.5. Útlum vibrací

V praxi bývá často požadováno, aby ložisko mělo určitou schopnost útlumu vibrací. Kluzná ložiska s dostatečně silnou mazací vrstvou mezi kluznými plochami mají značný tlumicí účinek. Zvláště velký tlumicí účinek mají tzv. víceplochá kluzná ložiska s několika hydrodynamickými nosnými mazacími vrstvami. [1]

3.6. Trvanlivost ložisek

Trvanlivost ložiska závisí především na jeho konstrukci, vlastních provozních podmínkách, jakosti výroby, údržbě a montáži. Za kritéria trvanlivosti ložiska se můžou považovat stupeň opotřebení nebo deformace povrchu funkčních ploch, které způsobí, že funkce ložiska se stane neuspokojivou. Kluzná ložiska s kapalinným třením mají téměř neomezenou trvanlivost, protože mazací vrstva odděluje kluzné plochy ložiska a čepu, a nedochází proto k jejich vzájemnému dotyku a jejich opotřebení. Uvedenou ideální trvanlivost narušuje jenom provoz ložiska v oblasti mezního mazání tj. u hydrodynamicky mazaného ložiska při rozběhu a doběhu. U hydrostaticky mazaného ložiska nemůže při rozběhu nebo doběhu nastat mezní mazání, protože mazací vrstva oddělující kluzné plochy je nezávislá na kluzné rychlosti. Z tohoto důvodu je trvanlivost kluzných ložisek s kapalinným třením vyšší než trvanlivost kluzných ložisek. [1]

3.7. Rozměry ložisek

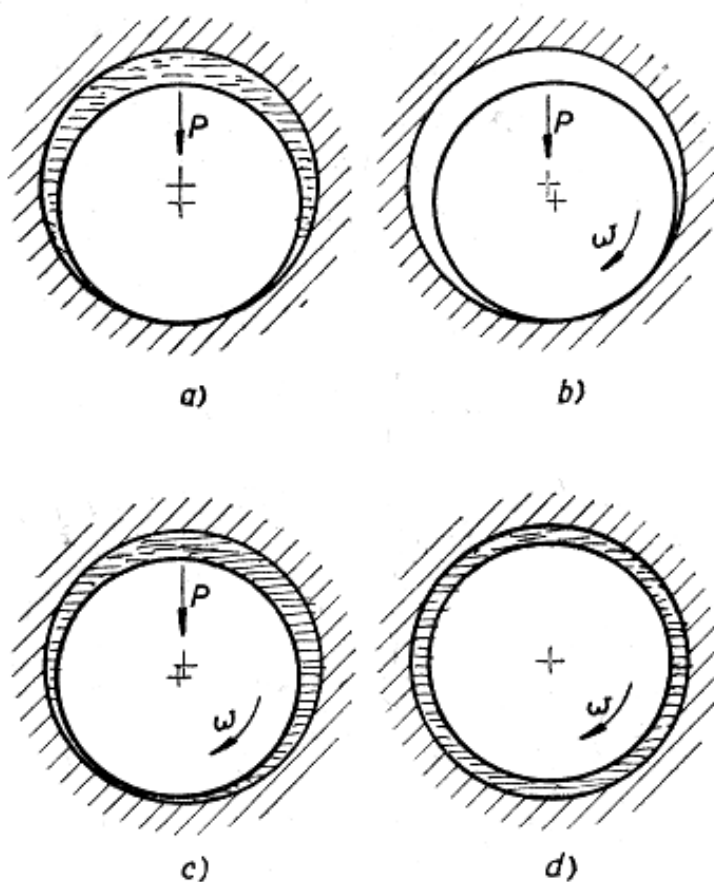
Pro zabudování ložiska je potřeba určitý prostor. Se zmenšením prostoru, klesají rozměry a hmotnost celého strojního zařízení, což je velká výhoda kluzných ložisek. Pro čep o průměru d se navrhuje délka kluzného ložiska v rozmezí $(0,25 \text{ až } 1,2)d$. Tloušťka pouzdra nebo panve se volí v rozsahu $(0,02 \text{ až } 0,1)d$. [1]

3.8. Způsoby mazání

Na kluzná ložiska bývají značně rozdílné požadavky mazání a mazací zařízení. Na mazání má hlavní vliv konstrukce ložiska a provozní podmínky. U ložisek pracujících v oblasti kapalinného tření je mazivo, především jeho viskozita a množství rozhodujícím faktorem. Mazací systém u těchto ložisek musí být velice spolehlivý. U ložisek pracujících v oblasti mezního mazání je vliv velmi značný, tj. jeho chemické a fyzikální působení na povrchy kluzných ploch a jeho množství. V oblasti mezního mazání pracují ložiska při malých kluzných rychlostech, a proto bývají mazána olejem nebo mazacím tukem. V této oblasti pracují i tzv. samomazná ložiska, tj. ložiska z pórovitého materiálu nasyceného mazacím olejem. Tyto kluzné plochy jsou mazány pouze mazivem, které účinkem třecího tepla vystupuje z póru ložiskového materiálu. [1]

3.8.1. Kluzná ložiska s hydrodynamickým mazáním

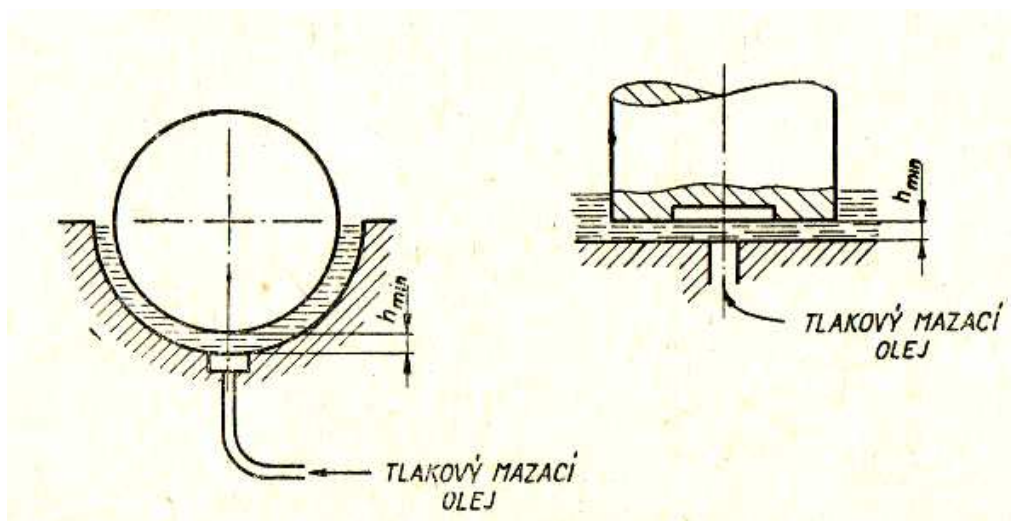
Čep uložený v radiálním ložisku s vůlí, zaujme výstřednou polohu vůči ložisku a vytvoří v ložisku podle svislé osy (osy působící síly) dva symetrické, zakřivené klínovité prostory (Obr. č. 12a)). Je-li tento prostor vyplněn olejem a počet otáček čepu velmi malý nabíhá čep na kluznou plochu ložiska proti směru otáčení (Obr. č.12b)). Jestliže je počet otáček čepu dostatečně velký, vzniká v zatížené, v dolní části prostoru ložiskové vůle účinkem rotace čepu, viskozity oleje a klínovitého tvaru prostoru ve vrstvě oleje (v mazací vrstvě) hydrodynamický tlak, který oddělí kluzné plochy čepu a ložiska. Čep se vychýlí ve směru rotace čepu (Obr. č. 12c)). Pouze při nekonečně velkém počtu otáček by čep zaujal přesně soustřednou polohu v ložisku (Obr. č. 12d)). [1]



Obr. č. 8 Poloha čepu v ložisku [1]

3.8.2. Kluzná ložiska s hydrostatickým mazáním

Při příliš malé kluzné rychlosti a poměrně velkém zatížení není hydrodynamická mazací vrstva dostatečně tlustá, aby zabránila přímému dotyku kluzných ploch a umožnila spolehlivý provoz ložiska v oblasti kapalinného tření. Tyto podmínky nastávají většinou při rozběhu a doběhu stroje. Principem hydrostatického mazání je vytvoření dostatečně tlusté mazací vrstvy vstupním tlakem maziva (Obr. č. 13). Mazivo vstupuje do jedné nebo i několika drážek v zatížené části kluzné plochy ložiska. Velikost vstupního tlaku závisí hlavně na velikosti zatížení požadované tloušťce mazací vrstvy a velikosti mazací drážky. Minimální tloušťka mazací vrstvy závisí na přesnosti výroby, dodržení geometrického tvaru kluzných ploch a drsnosti jejich povrchu. [1]



Obr. č. 9 *Hydrostatické mazání* [1]

3.9. Ekonomické požadavky

V současné době mají tyto požadavky velmi významnou roli. Na trhu je spousta firem, která se zabývá výrobou kluzných ložisek, proto je cena kluzného ložiska z ekonomického hlediska velice důležitá. Uvažuje-li se nejjednodušší a nejběžnější typy obou druhů ložisek, tj. kluzných a valivých, vyráběných ve velkých sériích ve speciálních závodech, je podle světového standardu cena kluzného ložiska 3x až 4x nižší, než valivého. Je důležité, aby konstruktér používal normalizovaná nebo typizovaná, sériově vyráběná kluzná ložiska (ložisková pouzdra a pánve), a to nejen z hlediska cenového, ale i funkčního. Individuální výroba je nejen podstatně dražší, ale i jakost ložiska je velice nízká. U velkých nebo složitějších zařízení s větším počtem ložisek, klesá poměrný náklad na jedno ložisko. [1]

4. Moderní trendy v problematice kluzných ložisek

4.1. Kluzná ložiska v klikovém mechanismu

Kluzná ložiska díky svojí rozebíratelnosti umožňují výrobu klikových hřídelí pro větší počet válců v jediném kusu. V moderních spalovacích motorech jsou vystavena vysokému namáhání a musí splňovat minimálně následující požadavky.

- dobré vlastnosti při nouzovém chodu
- nízkou citlivost k zadírání
- vysokou odolnost proti únavě
- vysokou odolnost proti otěru
- dobrou schopnost rozběhnutí a velkou dosažitelnou přesnost lícování
- dobrou odolnost vůči nečistotám

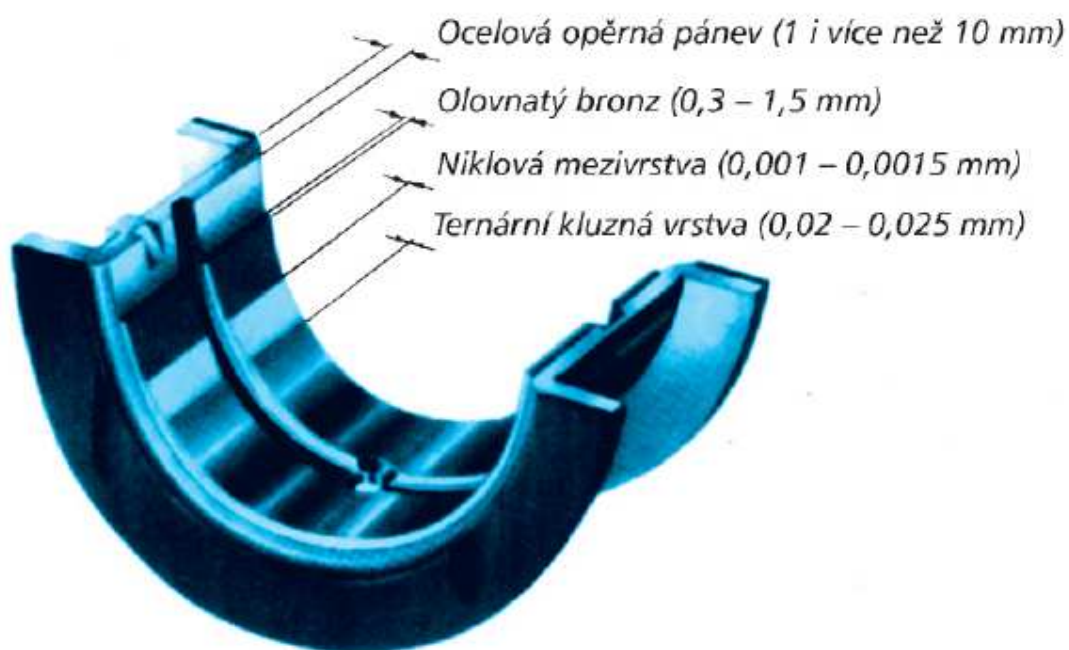
[14]

4.1.1. Charakteristika radiálních a axiálních ložisek

Podle směru zatížení se ložiska všeobecně rozlišují na ložiska zachytávající příčné síly (síly kolmé k ose), která se nazývají ložiska radiální, a ložiska zachytávající podélné síly (síly působící rovnoběžně s osou), která se nazývají ložiska axiální. Radiální ložiska (příčná) nacházejí své uplatnění především jako hlavní a ojnicní ložiska, stejně jako je možné jejich použití pro pouzdra pístních čepů, ložiska vačkových hřídelí a pouzdra vahadel. Axiální ložiska (podélná) naproti tomu slouží k přejímání axiálního posuvu, ke kterému dochází např. při vypínání spojky a jsou většinou kombinována s hlavním radiálním ložiskem. [14]

4.1.2. Konstrukce kluzných ložisek

Odhlédne-li se od několika výjimek, bývají kluzná ložiska konstruována jako sdružená. To znamená, že na společné ocelové nosné pánvi, nazýváme také opěrný prstenec, je nanesen vlastní ložiskový materiál. Podle způsobu nanášení ložiskového kovu lze rozlišit nalité ložiskové kovy, ložiskové kovy nanesené spékáním a vrstvy nanesené galvanicky. Princip konstrukce sdruženého ložiska, v tomto případě se třemi vrstvami. [14]



Obr. č. 10 *Konstrukce ložiska se třemi materiály* [14]

4.2. Mazaná kluzná ložiska provozována při extrémních pracovních podmínkách v parametrech zatížení, otěru a koroze

Pracovní stroje, které jsou používány ve stavebnictví a v zemědělství, jsou vystavovány náročným pracovním podmínkám, vyplývajícím z agresivního prostředí, ale také z narůstajících nároků zákazníků v parametrech produktivity a efektivnosti. Vysokému dynamickému zatížení jsou vystavovány zvláště určité mechanické spoje, tvořené sestavami hřídel/kluzné ložisko při rázovém namáhání a v otěrovém a korozivním prostředí. Navíc k těmto tradičně drsným pracovním podmínkám mohou dnes pro terénní zařízení vzrůstat nároky na prodloužení mazacích intervalů (a tím na snížení spotřeby maziva), zvláště při přísnějších požadavcích na ochranu životního prostředí a na snadnější údržbu. [13]



Obr. č. 11 *Pracovní stroje používané při extrémních podmínkách* [15]

4.2.1. Přehled, popis a typy poruch, působících na mechanické spoje

Náročné pracovní podmínky, působící na sestavy hřídel/ložisko u těžkých strojních zařízení, vedou k různým typům poruch, které mohou vznikat samostatně i souběžně. Projev jednotlivého typu poruch záleží na podstatě zatížení a na technologii ložiska. [13]

4.2.1.1. Adhezní opotřebení

Adhezní opotřebení a jeho extrémní následek ve formě zadření mezi hřídelí a ložiskem je nejvíc obávaným jevem, protože vede k zablokování mechanického spoje. K zadření častěji dochází zavařením dvou třecích částí v důsledku uvolňování tepla v průběhu tření. Tento typ poruchy je hlavně způsobený zahřátím dotykových ploch v důsledku nahromadění třecí energie. [13]

4.2.1.2. Opotřebení v důsledku mechanického namáhání

Tento typ poruchy je podporovaný opakovaným vysokým zatěžováním, přenášeným na ložisko. Tření a kolmé zatížení, přenášené na ložisko, vytváří tlakové namáhání na povrchu a v jeho blízkosti a dále podpovrchové stříhové namáhání. To může vést ke vzniku prasklin a případně k odlučování části povrchu. [13]

4.2.1.3. Abrazivní opotřebení

Některé spoje na zemědělských nebo stavebních zařízeních jsou vystaveny působení abrazivních částic, jako je písek a prach. Abrazie vede k rychlému opotřebení ložiska a k pravděpodobnému opotřebení hřídele především v tomto případě, pokud se tvrdé částčky usadí v měkkém povrchu ložiska. [13]

4.2.1.4. Porucha v důsledku rázového zatížení

U výrobků pro stavebnictví a zemědělství jsou spoje často vystaveny rázovému namáhání, které může vést k poruše na základě iniciace a šíření trhlin v materiálu s omezenou houževnatostí. Rázy a přetížení mohou způsobovat plastické deformace, a proto musí ložisková technika vykazovat vysokou houževnatost v jádře. [13]

4.2.1.5. Koroze

K mechanickým a tribologickým požadavkům může při degradaci parametrů ložisek v zemědělských a stavebních zařízeních hrát aktivní roli i koroze. Ovšem nejobvyklejší korozní napadání je způsobované vlhkostí a solí v okolním prostředí a z toho důvodu by mělo ideální ložisko vykazovat vysokou odolnost k tomuto typu koroze. [13]

4.2.2. Charakteristické vlastnosti

Pro zvládnutí drsných provozních podmínek a pro omezení spotřeby mazacího tuku, musí technologie kombinovat v co největší míře následující požadavky.

- nízký součinitel tření
- snadné odvádění třecí energie
- schopnost pro udržování maziva v dotykové zóně
- dobrá třecí kompatibilita s příslušnou hřídelí
- vysoké mechanické charakteristiky jádra (mez kluzu, bod zlomu, pevnost v tlaku a houževnatost)
- vysoká tvrdost povrchu a vysoké mechanické charakteristiky
- dobrá odolnost proti korozi

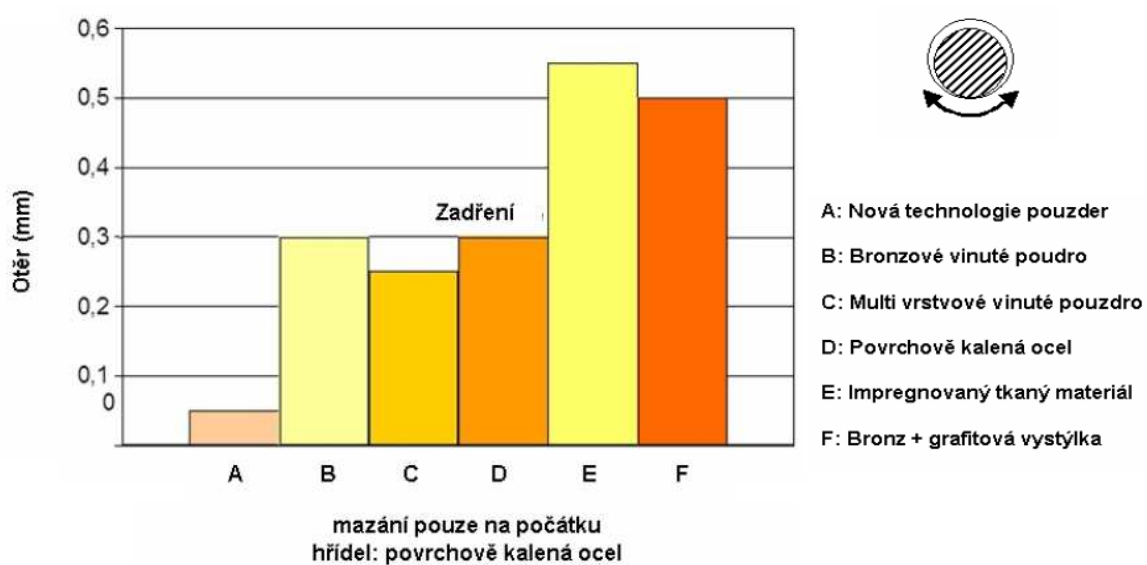
[13]

4.2.3. Popis nové technologie ložisek

Jako materiál jádra se pro toto ložisko volí ocel, protože má nízkou cenu a poskytuje vysoké mechanické parametry (mez kluzu, odolnost proti únavě, houževnatost a tvrdost). Hlavní nevýhodou oceli jako ložiskového materiálu jsou vlastnosti jejího povrchu. Dále je to nedostatečná protikorozní odolnost oceli. Pro vyloučení těchto nevýhod se u této technologie výroby ložisek používá ocel jako materiál jádra v kombinaci s kompozitním ošetřením povrchu spolu se specifickou topografií povrchu jako poskytovatele povrchových vlastností. To nabízí možnost spojení vysokých mechanických parametrů povrchu s dobrými třecími vlastnostmi (odolnost proti zadření a vlastní mazání). Proto se při nové technologii ložisek používá k výrobě speciální legovaná ocel s určitými speciálními zásobníky maziva na vnitřním průměru. Ložisko se potom zpracovává pomocí chemicko-tepelného difúzního povrchového postupu. Difúzní prvky a ocelová kompozice se volí pro vytvoření kovové fáze, ve které se kombinuje vysoká tvrdost povrchu, vysoká pevnost v tlaku a správná hloubka difúze. Nakonec se aplikuje dokončující samomazná povrchová úprava, tvořená polymerickou maticí obsahující částičky pevného maziva. Tato úprava poskytuje solidní mazací vlastnosti (nízkou hodnotu součinitele tření), dobré uložení povrchu a dobré záběhové vlastnosti. [13]



Obr. č. 12 *Nová technologie pouzder* [13]



Obr. č. 13 *Porovnání nové technologie s ostatními technologiemi* [13]

5. Přehled kluzných ložisek u současných spalovacích motorů

5.1. Charakteristika klikové hřídele

Je to součást motoru, která mění posuvný pohyb pístu na pohyb otáčivý. Kliková hřídel přenáší přeměněný točivý moment na setrvačnick a spojku. Částí točivého momentu pohání další části motoru a příslušenství jako např. vačkovou hřídel, alternátor, vodní a olejovou pumpu. Každá kliková hřídel má v hlavní ose ležící hlavní čepy pro uložení v klikové skříní a klikové (ojnicí) čepy pro uložení ložisek ojníc. Jednotlivé čepy jsou spolu spojeny rameny, tyto ramena a vyosení čepů ale způsobují velkou nevyváženost klikové hřídele a tak musí být na ramenu protizávaží, které tuto nevyváženost vyrovnají. Klikové hřídele se vyrábějí většinou z litiny, nebo oceli. [7]

5.2. Charakteristika ojnice

Ojnice je součást, které přenáší sílu z pístu na klikovou hřídel. Ojnice musí mít velkou pevnost a přitom lehká, aby se eliminoval setrvačný pohyb. Ojnice se skládá z paty a víka ojnice, ve které je ložisková pánev, dříku ojnice, oka ojnice, do kterého se vkládá pouzdro. Do pouzdra se vkládá čep, který spojuje píst s ojnící. Pouzdro a pánev je většinou z bronzu, protože zde vzniká velké tření a také teplota, jiné materiály by se začali připekat. [7]

5.3. Kluzná ložiska ve spalovacích motorech

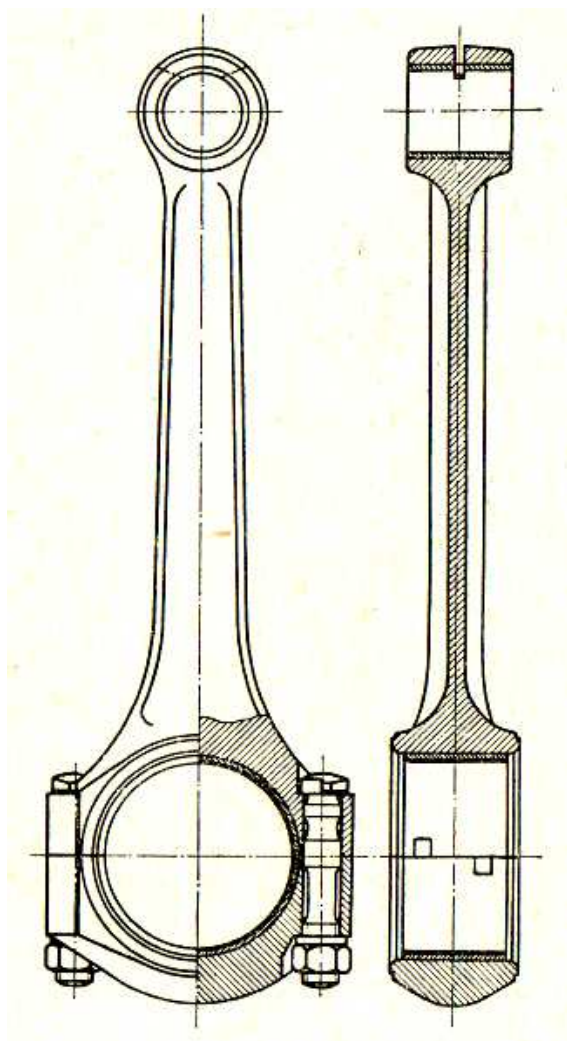
Kluzná ložiska jsou důležitou součástí spalovacích motorů. Je proto zřejmé, že jejich vývoj je úzce spjat s konstrukcí motoru. Komplexní požadavky a zvyšující se zátěže kladené na ložiska motorů, jako jsou např. klikové hřídele, spojovací tyče, zdvihátka ventilů a vačkové hřídele obecně vyžadují používání materiálů vhodných a dobře přizpůsobených příslušnému použití. Na trhu je dnes velké množství osvědčených kombinací materiálů, které umožňují konstruktérům vybrat optimálně přizpůsobený systém ložisek. [16]



Obr. č. 14 *Dělená kluzná pouzdra* [16]

5.4. Ojniční a kliková ložiska

Životnost ložisek naftového motoru závisí na jejich zatížení, na správných rozměrech, vhodné volbě materiálu, na správné ložiskové vůli a na druhu použitého mazacího oleje. Důležitou okolností je, že zatížení ložisek spalovacích motorů, zejména u klikového ústrojí, je rázové. Změna tlaků je sice spojitá, ale se zřetelem k velké rychlosti změn a k velkému rozdílu maxima a minima tlaku vlivem děje ve spalovacím prostoru, se zvláště tlaková špička projevuje jako rázová síla. Jedním z hlavních činitelů, kteří mají vliv na spolehlivou činnost ložiska, jsou hydrodynamické poměry mazání. V ložiskách naftových motorů je za provozu kapalinné tření a jen při spouštění a dobíhání jsou kluzné podmínky na kratší dobu přechodně zhoršeny. [2]



Obr. č. 15 *Ložisko ojnice a pístního čepu* [1]

5.4.1. Materiál kluzných ložisek

U spalovacích motorů se pro hlavní a ojniční ložiska používá zejména tří hlavních skupin materiálů. Jsou to kompozice, bronzы a pro pouzdra pístních čepů, jakož i ložiska vačkových hřídelů, někdy i litina nebo jiné kovy. Se zřetelem na zatíženost ložiska nejlépe vyhovují hliníkové ložiskové slitiny a olověný bronz, dále cínový bronz, litina, cínové kompozice a nakonec olověné kompozice. Pokud jde o odolnost proti střídavému namáhání, popř. i rázovému, vyhovují nejlépe kompozice a olověný bronz, méně vhodné jsou ostatní bronzы a litina. Nejlepší kluzné vlastnosti, zvláště při nouzovém provozu a špatném mazání, mají olověné kompozice a hliníkové ložiskové slitiny, pak cínové kompozice, olověný bronz, cínové bronzы a nakonec litina. [2]

5.4.1.1. Požadavky kladené na ložiskový kov

- velká odolnost proti přetváření a únavě, aby za provozu nedošlo k změnám vlivem zatížení
- dobrá jímavost (pohltivost) pro cizí tělíska a nečistoty
- dobré pevnostní vlastnosti při provozních teplotách, obzvláště malý pokles tvrdosti s teplotou
- dobrá odolnost proti korozi látkami, obsaženými v mazacím oleji
- schopnost udržet na svém povrchu vrstvu oleje
- dobré kluzné vlastnosti i při nouzovém běhu
- dobré vlastnosti pro zabíhání
- dobrá tepelná vodivost
- malá roztažnost
- malý součinitel tření
- dobrá obrobitelnost
- dobrá přílnavost k základním materiálům pánve

[2]

5.4.1.2. Kompozice

Je to nejstarší skupina ložiskových kovů. Mají velmi dobré kluzné vlastnosti i při špatném mazání. Poruší-li se mazací vrstva oleje, stoupne v příslušném místě teplota a krystaly kompozice se mohou roztavit. Ty se však roztěrou po okolní ploše a nenavaří se na čep. Tloušťka vrstvy je omezena velikostí motoru a s tím souvisejícími výrobními možnostmi. U kompozicových ložisek lze použít ocelových hřídelů nebo hřídelů litých bez tvrzení povrchu, v přirozeném stavu. Vniknou-li do ložiska drobné nečistoty, zatlačí se jejich tvrdé částičky do ložiskového kovu a hřídel se nepoškodí. Kompozicových ložisek se používá pro ojnicí a hlavní ložiska, pro malá a střední namáhání i při velkých kluzných rychlostech. Pro velmi výkonné rychloběžné motory ale nestačí. Jejich tepelná vodivost je poměrně špatná, ale pro malou tloušťku výstelky je bezvýznamná. Cínové kompozice jsou vhodné pro rázové zatížení. Cín zlepšuje kluzné vlastnosti ložiska, zvětšuje tvrdost ložiskového kovu a houževnatost a pevnost vrstvy. Olověné kompozice nacházejí uplatnění v řadě případů jako náhrada za kompozice cínové (u méně namáhaných ložisek). Velký obsah olova zmenšuje tvrdost kovu, snižuje bod tavení a zhoršuje kluzné vlastnosti. [2]

5.4.1.3. Bronzy

Cínové jsou velmi tvrdé a pevné, ale jejich kluzné vlastnosti a zvláště záběhové vlastnosti nejsou zcela vyhovující. Při méně vydatném mazání se snadno zadřou. Snášejí vysoké provozní teploty a pokles tvrdosti je přitom malý. Ložiska z cínových a hliníkových bronzů bývají plnostěnná, což se hodí hlavně pro pouzdro pístního čepu. Pro svou velkou tvrdost nepohlcují bronzы cizí tělíska v ložisku. Proto je třeba ocelové čepy kalit nebo cementovat. Hlavní používanou skupinou ložiskových kovů pro rychloběžné motory jsou olověné bronzы. Pánví s výstelkou olověného bronzу se používá nejen jako kompozicových výsterek u velmi namáhaných ložisek, ale i jako náhražka za plnostěnná pouzdra z cínových a hliníkových bronzů. Kluzné vlastnosti olověných bronzů jsou velmi dobré a jejich únosnost je značná; snášejí velká okrajová namáhání i rázová zatížení. Olověné bronzы mají dobrou odolnost proti korozi. Olověné bronzы mají ale vyšší tvrdost výstelky, i když některé druhy s velkým obsahem olova se blíží kompozicím. Jejich výhodou je malý pokles tvrdosti s teplotou. Rychlé ochlazení vrstvy olověného bronzу po vylití zaručuje jeho správnou strukturu a vhodné kluzné vlastnosti. [2]

5.5. Typy ložisek

5.5.1. Jednoduchá kluzná ložiska

Jednoduchá kluzná ložiska se dají použít, jak pro ojnicí ložiska, tak pro hlavní ložiska. V největší míře jsou konstruována jako kompozitní kluzná ložiska se silnými stěnami. Ložiska vyrobená ze dvou materiálů mají ocelovou zadní stěnu, na kterou je připlátován kov ložiska, většinou to bývá hliník s aditivou cínu a mědi. U ložisek vyráběných ze tří materiálů, je materiálem ložiska měď s aditivou olova a litého cínu na ocelovou desku, nebo je aplikován válcováním. Niklová vrstva odděluje kov ložiska a kluznou vrstvu. [16]

5.5.2. Přírubová kluzná ložiska

Přírubová kluzná ložiska vedou klikový hřídel v systému ložisek klikové skříně axiálně. Příruby těchto ložisek jsou dodávány připravené k montáži a není třeba je strojově upravovat. V případě výjimek, které ale nebývají časté, jsou zřetelně označeny v katalogu. Podle konstrukce motoru jsou instalována jedno nebo dvě přírubová ložiska. [16]

5.5.3. Bimetalické tenkostěnné pánve s kluznou vrstvou hliníku a cínu

Na ocelovém podkladě je nanášena výstelka z kluzného materiálu. Používají se pro pracovní podmínky s hydrodynamickým mazáním, vhodné pro statické a dynamické zatížení. Kromě dobrých kluzných vlastností se tento materiál vyznačuje dobrou únavovou pevností, dobrou odolností vůči korozi a dobrou pracovní přizpůsobivostí v mezních podmínkách tření. Pro svoje vynikající vlastnosti se používá hlavně k uložení klikové hřídele spalovacích motorů. [8]

5.5.4. Bimetalické tenkostěnné pánve s kluznou vrstvou mědi a olova

Jsou určeny pro pracovní podmínky s hydrodynamickým mazáním, vhodné pro statické a dynamické zatížení. Výstelky jsou na ocel nanášeny práškovou metalurgií. V běžných případech jsou spékány a zhutněny válcováním. Rovnoměrná struktura zaručuje vysokou účinnost a dobré kluzné vlastnosti v podmínkách mezního tření. Pro svoje dobré kluzné vlastnosti se ve velké míře uplatňují jako hlavní a ojnicí ložiska spalovacích motorů. [8]

5.5.5. Axiální podložky

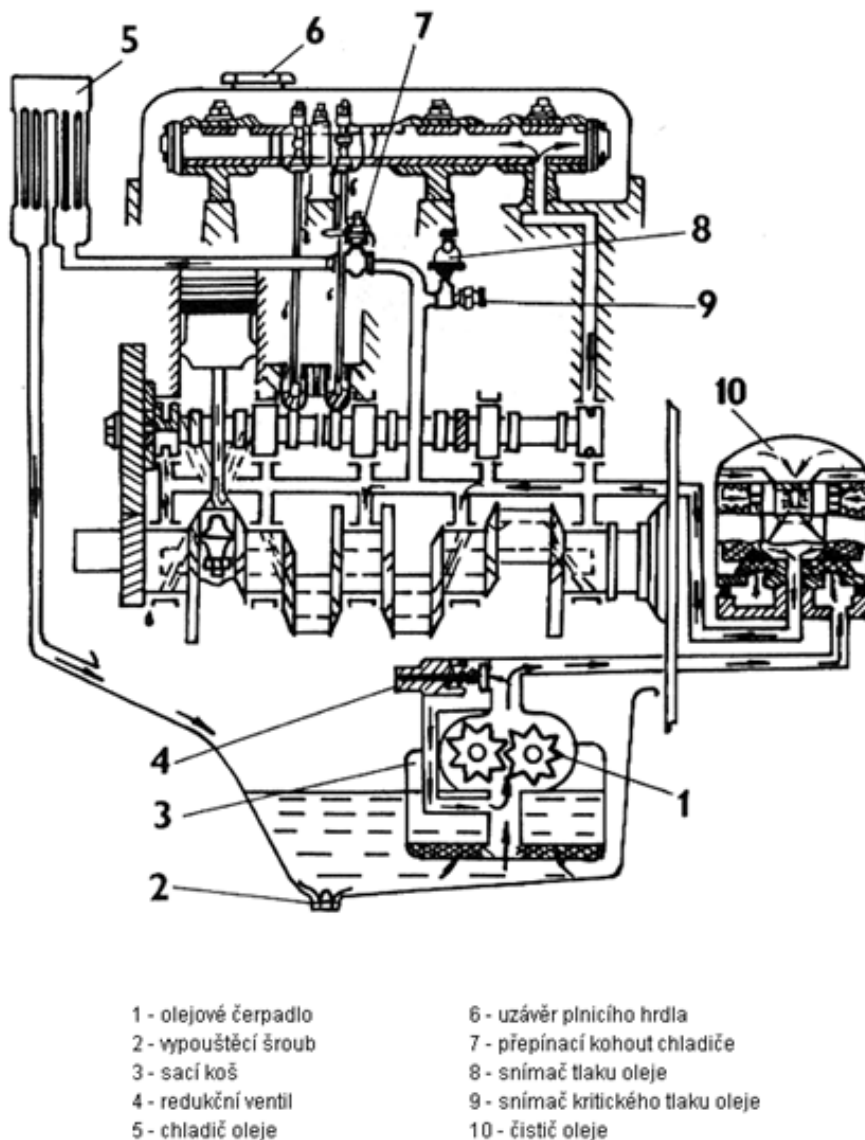
Axiální podložky spolu s jednoduchými kluznými ložisky nahrazují přírubová ložiska motoru. Axiální vedení klikového hřídele je v tomto případě prováděno axiálními podložkami. Klikové skříně jsou specificky konfigurovány tak, aby v nich byly umístěny axiální podložky, protože musí být zajištěno spolehlivé vedení ve vnějším průměru axiálních podložek a rotačního zámku. Z tohoto důvodu nemohou být skříně, které jsou konstruovány pro osazení přírubovými ložisky, opatřeny axiálními podložkami. [16]

5.6. Mazání

Při posuvu dvou součástí vzniká třecí síla, která nám působí mechanické ztráty a vytváří teplo. Dochází k tomu vlivem nerovností povrchů. Je proto snahou tyto povrchy oddělit látkou s menším vnitřním třením. Nejpoužívanější látkou k mazání je olej. Vnitřní tření oleje určuje viskozita, na kterou jsou kladeny dva protichůdné nároky. Nízká viskozita způsobuje nízké mechanické ztráty, ale na druhou stranu má i menší únosnost olejového filmu. K vytvoření kluzné vrstvy je potřeba dodávka oleje pod tlakem, ale hlavně pohybu dvou součástí vůči sobě. Dochází tak k hydrodynamickému mazání, které je účinnější než mazání hydrostatické. Nejhorší stavy jsou pro motor při rozběhu a doběhu, protože olej nemá potřebný tlak, aby se mohl dostat k mazaným částem. Dnešní oleje již však dokážou vázat na sebe kovy a velice snižují tření i v těchto pro motor nepříznivých situacích, a tak běžným provozem vydrží kluzná ložiska mnoho desítek tisíc kilometrů. Olej je uložen ve vaně, která má v nejnižším místě výpustný šroub a může v ní být uloženo čidlo hladiny případně tlaku oleje. Z vany je olej nasáván přes sací koš, ve kterém se zachytávají největší nečistoty, do čerpadla, odkud se přes olejový filtr dostává do okruhu. [17]



Obr. č. 16 *Plně syntetický olej, který splňuje nejnáročnější testy motorových olejů* [19]



Obr. č. 17 *Mazací soustava motoru – je kombinovaná, tlaková a rozstřikovací* [19]

6. Závěr

V této práci jsou uvedeny všeobecné informace o kluzných ložiskách. Kluzná ložiska mají své místo ve strojírenství, i když jsou v porovnání s valivými ložisky zastoupeny v menší míře, v mnoha aplikacích, jako jsou spalovací motory, stavební a zemědělské stroje, jsou nenahraditelná. Všechny součásti, tak i ložiska mají své výhody a nevýhody. Samozřejmě při volbě kluzných ložisek musí dominovat jejich výhody, a proto by se měly při jejich vývoji a konstruování v co největší míře eliminovat nevýhody. Největší nedostatkem u kluzných ložisek je jejich tření, které vzniká mezi pouzdrem a čepem hřídele. Musí být proto zvolen spolehlivý mazací systém, aby neustále byly tyto třecí plochy odděleny. Poté se kluzné ložisko vyznačuje dobrou spolehlivostí a životností. Podle mého názoru bude neustále docházet k rozšiřování oblastí, kde budou kluzná ložiska využívána. Budou se převážně vyrábět z lehkých nekovových materiálů. K tomuto rozvoji přispěje jistě také ekonomické hledisko, protože náklady na pořízení kluzného ložiska jsou o dost nižší, než u valivých ložisek. V dnešní době, ve které je mnoho podniků na výrobu ložisek, bude ekonomické hledisko pro výrobce ložisek nejdůležitějším ze všech.

7. Literatura

- [1] VINŠ, J. *Kluzná ložiska*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 219 s.
- [2] KOLEKTIV VÚNM A ČKD. *Naftové motory čtyřdobé*. 2. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 541 s.
- [3] ELIT. *Motorové díly* [online]. [cit. 2009-2-5]. Dostupné z: <http://www.elit.cz/cz/sortiment-a-sluzby/nahradni-dily-pro-osobni-a-uzitkove-vozy/motorove-dily/default.aspx> >.
- [4] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Moderní kluzná ložiska* [online]. [cit. 2009-2-13]. Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-kluzna-loziska> >.
- [5] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Jednořadá radiální kuličková ložiska* [online]. [cit. 2009-2-5]. Dostupné z: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/jednorada-radialni-kulickova-loziska> >.
- [6] STROJÍRENSTVÍ. *Materiály kluzných ložisek* [online]. [cit. 2009-4-20]. Dostupné z: < <http://strojirenstvi-cz.blogspot.com/2008/10/materily-kluznych-loisek.html> >
- [7] DREAMCARS. *Pohyblivé části motorů* [online]. [cit. 2009-4-20]. Dostupné z: < <http://dreamcars.nfscenter.net/pohyblive-casti-motoru.a64.html> >.
- [8] JINPO. *Samomazná pórovitá ložiska* [online]. [cit. 2009-3-3]. Dostupné z: < <http://www.jinpo.cz/vylisky.html> >.
- [9] EXVALOS. *Lineární kuličková ložiska* [online]. [cit. 2009-3-5]. Dostupné z: < <http://www.exvalos.cz/linearni-vedeni/linearni-kulickova-loziska-lbbr--lbcr-/>>.
- [10] TECHNICAR. *Motorové oleje pro osobní automobily* [online]. [cit. 2009-3-3]. Dostupné z: <<http://www.technicar.cz/Oleje/Q8osobn%C3%AD.htm>>.
- [11] REFERÁTY-SEMINÁRKY. *Valivá a kluzná ložiska* [online]. [cit. 2009-4-20]. Dostupné z: <<http://referaty-seminarky.cz/valiva-a-kluzna-loziska/>>.
- [12] REFERÁTY-PORTÍK. *Valivá a kluzná ložiska* [online]. [cit. 2009-4-20]. Dostupné z: <<http://referaty.portik.cz/2008/03/29/valiva-a-kluzna-loziska/>>.
- [13] HEF-DURFERRIT. *Mazaná kluzná ložiska* [online]. [cit. 2009-4-15]. Dostupné z: < <http://www.hef-durferrit.cz/Nova-technologie-pouzder.pdf> >.
- [14] AUTOPRESS. *Praktická dílna* [online]. [cit. 2009-4-15]. Dostupné z: < <http://www.autopress.cz/prakticka-dilna/> >
- [15] CATERPILLAR EQUIPMENT. *Construction Equipment Auctions* [online]. [cit. 2009-4-15]. Dostupné z: < <http://catsays.blogspot.com/> >.

[16] KS MOTOR SERVIS VAN. *Kluzná ložiska* [online]. [cit. 2009-3-25]. Dostupné z: <http://www.ksms.cz/index.php/index.php?kat=pages&id_page=1>.

[17] MOTORKÁŘI. *Mazání motoru* [online]. [cit. 2009-3-25]. Dostupné z: <<http://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-2.-cast-mazani-motoru-3241.html>>.

[18] AUTOMOTOVELO. *Autodíly a příslušenství* [online]. [cit. 2009-4-15]. Dostupné z: <<http://www.automotoveelo.cz/index.php?productID=746>>.

[19] AUTOUAZ. *Mazací soustava motoru* [online]. [cit. 2009-4-20]. Dostupné z: <http://www.autouaz.cz/konstrukce_motor.php>.